

# Mineralogi Liat dan Mikromorfologi Ultisols pada Sekuen Curah Hujan: Studi Kasus di Kalimantan Timur, Indonesia

## *Clay Mineralogy and Micromorphology of Ultisols along Rainfall Sequences: A Case Study in East Kalimantan, Indonesia*

Makhrawie<sup>1</sup>, M. Lutfi Rayes<sup>2</sup>, M. Munir<sup>2</sup> dan Sudarto<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Staf Pengajar Fakultas Pertanian Universitas Mulawarman, Kampus Gunung Kelua, Jalan Pasir Balengkong, Samarinda (75123) Kalimantan Timur

<sup>2</sup> Staf Pengajar Jurusan Tanah Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya, Jalan Veteran, Malang 65145, Indonesia

### INFORMASI ARTIKEL

#### Riwayat artikel:

Diterima: 21 Maret 2022

Disetujui: 13 Juli 2022

Dipublikasi online: 20 Juli 2022

#### Kata Kunci:

Mineralogi  
Mikromorfologi  
Selaput liat  
Tanah Ultisols  
Sekuen curah hujan

#### Keywords:

Mineralogy  
Micromorphology  
Clay coatings  
Pedon of Ultisols  
Rainfall sequence

#### Direview oleh:

Muhammad Hikmat,  
Sukarman

**Abstrak.** Ultisols merupakan jenis tanah dominan di Kalimantan Timur, memiliki sifat tanah kompleks yang terbentuk sebagai akibat interaksi dari faktor iklim dan faktor pembentuk tanah lainnya. Penelitian pada 5 pedon Ultisols dilakukan secara transek menurut sekuen curah hujan dari arah bagian Timur ke bagian Barat Kalimantan Timur, yaitu berturut-turut dari P2 (zona I), P5 (zona II), P14 (zona III), P16 (zona IV), hingga P24 (zona V), masing-masing dengan curah hujan (mm th<sup>-1</sup>) sebesar < 2.000, 2.000-2.500, 2.500-3.000, 3.000-3.500, dan 3.500-4.000. Penelitian bertujuan untuk mengidentifikasi dan menganalisis keberadaan mineral liat dan selaput liat (*argillan*) pada Ultisols. Identifikasi mineral liat dilakukan dengan difraktometer sinar X dan keberadaan *argillan* dengan mikroskop polarisasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jumlah mineral liat pada Ultisols didominasi oleh kaolinit, diikuti illit (sedikit hingga cukup), vermikulit dan gibsit (sedikit), dan gutit serta kuarsa (sedikit sekali). Jenis mineral liat pada pedon-pedon P14, P16 dan P24 lebih bervariasi dibandingkan pada pedon P2 dan P5. Jumlah *argillan* pada 5 pedon sebesar 2,30–28,18% volume, menunjukkan bukti terbentuknya horison argilik (Bt). Semua pedon juga mengandung oksida besi sebesar 1,46-30,77% volume dan kuarsa sebesar 2,36-44,59% volume. Jumlah *argillan* meningkat dengan meningkatnya jumlah curah hujan dan jumlah oksida besi dari zona I sampai III, kemudian menurun pada zona IV dan V. *Argillan* tertinggi 28,18% volume terdapat pada P14, dengan jumlah oksida besi sebesar 30,23% volume dan kuarsa sebesar 6,59% volume. Keberadaan *argillan* dan kandungan mineral kaolinit yang dominan serta oksida besi yang cukup besar pada Ultisols Kalimantan Timur merupakan pembatas untuk tanah pertanian.

**Abstract.** Ultisols are the dominant soil type in East Kalimantan, having complex soil properties that are formed as a result of the interaction of climatic and other soil-forming factors. The research on 5 pedons of Ultisols (P) was conducted in transect according to rainfall sequences from the Eastern to the Western part of East Kalimantan province, from P2 (zone I), P5 (zone II), P14 (zone III), P16 (zone IV), to P24 (zone V), each with rainfall (mm yr<sup>-1</sup>) of <2,000, 2,000-2,500, 2,500-3,000, 3,000-3,500, and 3,500-4,000, successively. The research aims to identify and analyze the presence of clay minerals and clay coatings (*argillan*) in Ultisols. Identification of the type and relative amount of clay minerals is carried out using an X-ray diffractometer and the presence of *argillan* using a polarizing microscope. The results showed that the number of clay minerals in Ultisols was dominated by kaolinite, followed by illit (small to sufficient), vermiculite and gibbsite (small), and goethite and quartz (very small). The types of clay minerals in pedons P14, P16, and P24 are more varied than in pedons P2 and P5. The number of *argillans* in 5 pedons was 2.30–28.18% by volume, showing evidence of the formation of the argillic horizon (Bt). All pedons also contained iron oxides as much as 1.46-30.77% by volume and quartz as much as 2.36-44.59% by volume. The number of *argillans* has relatively increased in line with the increasing amount of rainfall and the amount of iron oxide from zones I through III, then decreased in zones IV and V. The highest *argillan* of 28.18% by volume is found in P14, with the amount of iron oxide at 30.23% by volume and quartz at 6.59% by volume. The presence of *argillan* and the dominant mineral content of kaolinite and iron oxides in the Ultisols of East Kalimantan is a barrier for agricultural land.

## Pendahuluan

Klimosekuen tanah (*soil climosequence*) merupakan

urutan tanah yang bervariasi disebabkan oleh adanya perbedaan kondisi iklim (Zehetner *et al.* 2009). Di antara atribut-atribut iklim, curah hujan dan suhu merupakan dua

\* Corresponding author: [makhrawie@faperta.unmul.ac.id](mailto:makhrawie@faperta.unmul.ac.id)

atribut iklim penting yang berpengaruh terhadap proses pembentukan tanah dan sifat-sifat tanah (Yaalon 1983; Brady 1990; Eswaran 1993; Alvarez dan Lavado 1998; Hardjowigeno 2003) serta tingkat pelapukan batuan (Steward *et al.* 2001). Tingkat pelapukan yang meningkat pada daerah-daerah yang memiliki curah hujan yang tinggi dapat diilustrasikan dengan baik melalui analisis mineralogi tanah (Jenny 1994). Curah hujan merupakan faktor yang sangat nyata mempengaruhi pelapukan kimia dan genesis mineral liat di daerah tropik. Curah hujan dan pencucian yang tinggi menjadi penyebab langsung transformasi mineral (Deepthy dan Balakrishnan 2005).

Ultisols merupakan salah satu jenis tanah yang menunjukkan perkembangan tanah lanjut dan tingkat pencucian yang intensif (Hardjowigeno 2003), terbentuk di daerah humida hangat di bawah vegetasi hutan (Soil Survey Staff 2013). Tanah ini terdapat dominan di Kalimantan Timur, dengan luas sebesar 8.809.912 ha, yang berkembang pada daerah dengan curah hujan tahunan antara 2.500 sampai 3.500 mm dan suhu tanah rata-rata  $>8^{\circ}$  C (Mulyani *et al.* 2004). Menurut Brady dan Weil (2007), tanah ini dicirikan oleh horison B yang relatif masam dengan Kejenuhan Basa (KB)  $<35\%$ . Proses utama dalam pembentukan Ultisols adalah pelapukan mineral liat dan translokasi liat yang terakumulasi pada horison argilik. Menurut Bockheim dan Hartemink (2013), horison argilik ini dapat terjadi pada area dengan rejim suhu tanah *pergelic*, *cryic*, *frigid* dan *hyperthermic* dan rejim kelembaban tanah *aquic*, *udic*, *ustic*, *xeric* dan *aridic*. Namun demikian, horison argilik lebih kuat terbentuk di daerah humida dibanding di daerah kering. Sepanjang gradien elevasi di Nevada, Elliott dan Drohan (2009) mengemukakan bahwa horison argilik lebih mudah terbentuk pada rejim kelembaban tanah *udic* dan *aridic-udic* dibandingkan rejim kelembaban tanah *aridic*.

Duchauffour (1998) menyatakan bahwa *argillan* merupakan penciri dari horison argilik (Bt). West *et al.* (1998) menyatakan bahwa banyak Ultisols mengandung selaput liat (*argillan*) pada horison Bt dan BC, yang menjadi bukti dari proses translokasi liat pada Ultisols. Translokasi liat (*lessivage*), menurut Jamagne (1973) dalam Quenard *et al.* (2011) umumnya diidentifikasi dalam tanah dengan keberadaan *argillan* dan penambalan (*filling*) pada skala makroskopik atau mikroskopik. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi, menganalisis keberadaan dan mengkarakterisasi mineral liat dan selaput liat (*argillan*) pada Ultisols sepanjang klimosekuen.

## Bahan dan Metode

### Area Studi

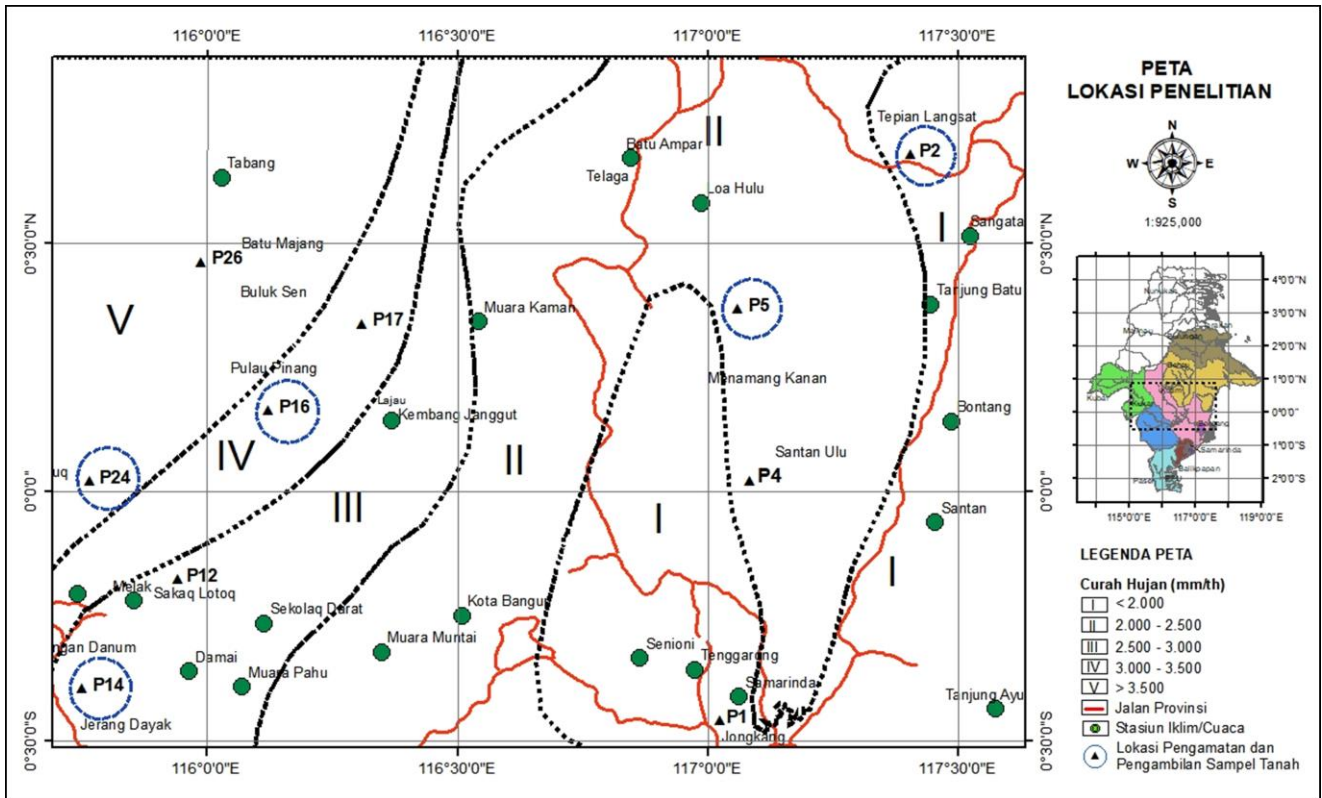
Penelitian tanah terhadap 5 pedon Ultisols (P) dilakukan secara transek menurut sekuen curah hujan dari arah Timur ke arah Barat wilayah Kalimantan Timur, dari P2 (zona I dengan curah hujan  $< 2.000 \text{ mm th}^{-1}$ ), P5 (zona II dengan curah hujan  $2.000\text{-}2.500 \text{ mm th}^{-1}$ ), P14 (zona III dengan curah hujan  $2.500\text{-}3.000 \text{ mm th}^{-1}$ ), P16 (zona IV dengan curah hujan  $3.000\text{-}3.500 \text{ mm th}^{-1}$ ) hingga P24 (zona V dengan curah hujan  $3.500\text{-}4.000 \text{ mm th}^{-1}$ ). Pedon P2 berada dalam wilayah Kabupaten Kutai Timur, P5 dan P16 dalam wilayah Kabupaten Kutai Kartanegara, dan P14 dan P24 dalam wilayah Kabupaten Kutai Barat. Lima pedon Ultisols tersebut berada dalam satuan lahan (Gambar 1), berasal dari batuan sedimen Tersier-Kwartar, dengan lereng 16-25% dan penutupan lahan berupa semak/belukar yang bercampur dengan hutan kering sekunder dan kebun buah-buahan rakyat.

Regim suhu tanah (RST) dan regim kelembaban tanah (RKT) lokasi penelitian yang dihitung dengan menggunakan *Newhall Simulation Model* berdasarkan data iklim selama 30 tahun (periode 1991–2021) yang bersumber dari [climate-data.org](https://id.climate-data.org) (<https://id.climate-data.org/info/privacy>) menunjukkan berturut-turut *Isohyperthermic* dan *udic/perudic* (Makhrawie *et al.* 2020).

Untuk mengetahui sifat morfologi Ultisols pada unit lahan untuk setiap zona iklim, dilakukan pengamatan dan deskripsi pedon dan lingkungannya dengan menggunakan rujukan Deskripsi Profil Tanah di Lapangan (Rayes 2006), *Guidelines for Soil Description* (FAO 2006), *Field Book for Describing and Sampling Soils* (USDA 2012) dan *Keys of Soil Taxonomy* (Soil Survey Staff 2014). Sampel tanah perwakilan untuk analisis mineralogi liat diambil dalam bentuk bongkahan liat yang kemudian dianalisis di Laboratorium Pengujian Balai Penelitian Tanah Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian, Bogor, dan sampel tanah untuk analisis mikromorfologi diambil menggunakan media *kubiena box* dan dianalisis di Laboratorium Pusat Penelitian dan Pengembangan TekMIRA, Kementerian ESDM, Bandung.

### Analisis Tanah

Identifikasi jenis dan jumlah relatif komposisi mineral liat yang terdapat pada Ultisols dilakukan dengan menggunakan alat difraktometer sinar X (XRD). Sebelum



Gambar 1. Peta lokasi penelitian yang memperlihatkan zona curah hujan berbeda di dalam wilayah administratif Provinsi Kalimantan Timur

Figure 1. Map of the research location showing different rainfall zones within the administrative region of East Kalimantan Province

perekaman dan upaya visualisasi pantulan sinar X dari kisi-kisi kristal dalam bentuk grafik, preparat dibuat dengan cara mengendapkan fraksi liat pada lempeng keramik. Kemudian preparat tersebut dijenuhkan dengan  $Mg^{2+}$ ,  $Mg^{2+} + Gliserol$ ,  $K^+$  dan  $K^+ + pemanasan 550^{\circ}C$  selama 1 jam (Churchman dan Paynen 1983; van Reeuwijk, 1993).

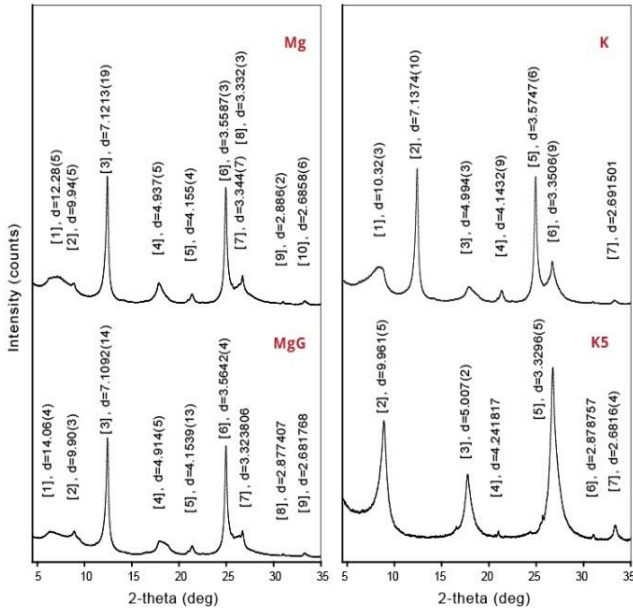
Identifikasi keberadaan *argillan* dan kandungan lain yang terdapat pada sampel Ultisols dilakukan dengan menggunakan alat mikroskop polarisasi. Sebelumnya perlu dibuat irisan tipis dari sampel tanah *kubiena box* dengan prosedur sebagai berikut: (a) impregnasi sampel tanah tidak terganggu dengan resin buatan, (b) pemadatan sampel tanah, (c) pelapisan (*laminating*) sampel tanah yang telah dipadatkan, (d) menghaluskan (*polishing*) sampel tanah yang telah dilaminasi dengan tepung silikon karsaid, dan (e) pemotongan sampel menjadi irisan tipis dengan ketebalan 25-30  $\mu m$  (Kerr 1959; Makhrawie *et al.* 2020).

## Hasil dan Pembahasan

### Mineralogi Liat Ultisols

Seperti disajikan pada Gambar 2-6, struktur puncak difraksi (*diffraction peak*) dengan penjenuhan  $K^+$ ,  $Mg^{2+}$

dan  $Mg^{2+} + gliserol$  memperlihatkan jarak basal (*basal spacing* atau *layer stacking*, *d*) bervariasi sebesar 7,09-7,30  $A^{\circ}$ , 3,54-3,58  $A^{\circ}$  yang disimpulkan berasal dari mineral liat kaolinit dari masing-masing pedon P2 (horison Cv), P5 (horison BCtv dan Cv), P14 (horison Cv), P16 (horison BCt) dan P24 (horison Cv). Puncak difraksi mineral liat kaolinit untuk semua pedon yang dianalisis dengan XRD mengalami kerusakan dengan penjenuhan  $K^+ + pemanasan 550^{\circ}C$ . Sementara itu, puncak difraksi dari mineral liat illit tidak mengalami perubahan pada penjenuhan dengan  $K^+ + pemanasan 550^{\circ}C$  dan penjenuhan dengan  $Mg^{2+} + gliserol$ . Seperti dikemukakan oleh Deepthy dan Balakrishnan (2005) bahwa dalam pola XRD, kaolinit diidentifikasi dengan nilai *d* sebesar 7,2  $A^{\circ}$ , yang menghilang pada pemanasan 550 $^{\circ}C$ . Schaeztl dan Anderson (2005) mengatakan mineral kaolinit dan serpentin memiliki jarak *d* sekitar 7  $A^{\circ}$  pada perlakuan semua kation dan pelarut. Jarak *d* tidak terpengaruh oleh perlakuan kation dan pelarut, karena liat tipe 1:1 tidak memiliki substitusi isomorf dan tidak ada kation-kation *interlayer* untuk mempengaruhi jarak *d*. Namun pemanasan hingga 550 $^{\circ}C$  menyebabkan kaolinit terurai dan puncak 7  $A^{\circ}$  menghilang.

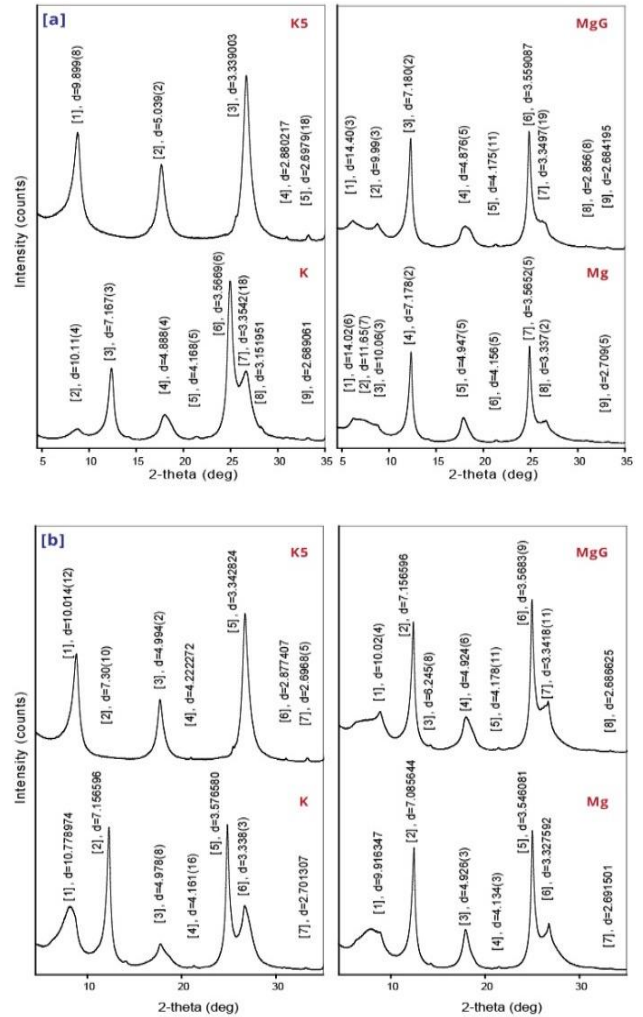


Gambar 2. Difraktogram mineral liat pada pedon P2 horison Cv (96,5-100 cm) dengan penjujukan K<sup>+</sup> (K), K<sup>+</sup> + pemanasan 550° C (K5), Mg<sup>2+</sup> (Mg) dan Mg<sup>2+</sup> + Gliserol (MgG)

Figure 2. Diffractogram of clay minerals on sample of horizon Cv (96.5-100 cm) of pedon P2 with saturation of K<sup>+</sup> (K), K<sup>+</sup> + heating 550° C (K5), Mg<sup>2+</sup> (Mg), and Mg<sup>2+</sup> + Glycerol (MgG)

Puncak difraksi dengan kisaran jarak *d* berturut-turut sebesar 9,90–10,32 Å, 4,88-5,08 Å, 3,32–3,35 Å dan 2,68–2,71 Å berasal dari mineral liat illit. Mineral liat kaolinit dan illit dari pedon P2 bukan termasuk mineral liat yang mengalami pengembangan dan pengempisan (*swelling* dan *shrinkage*).

Selanjutnya puncak difraksi dengan jarak *d* sebesar 14,06-14,40 Å, 2,86-2,90 Å (dengan penjujukan Mg<sup>2+</sup> + gliserol) berasal dari mineral liat vermiculit. Dikemukakan oleh Schaeztl dan Anderson (2005), vermiculit dicirikan oleh puncak 14 Å dengan perlakuan Mg dan Mg-gliserol dan puncak 10 Å setelah perlakuan K. Sampel vermiculit yang mengandung mika, smektit dan khlorit sulit diidentifikasi. Lebih lanjut dikemukakan oleh kedua peneliti ini, liat-liat yang diperlakukan dengan Mg<sup>2+</sup>, semua silikat lapisan 2:1, kecuali mika, klorit, vermiculit, smektit, *Hydroxy-interlayered Vermiculite* (HIV) dan *Hydroxy-interlayered Smectite* (HIS) mempunyai jarak *d* sebesar 14 Å. Liat yang mempunyai muatan yang lebih tinggi tidak mengembang dan mempunyai jarak *d* yang sama sebelum dan sesudah perlakuan gliserol.



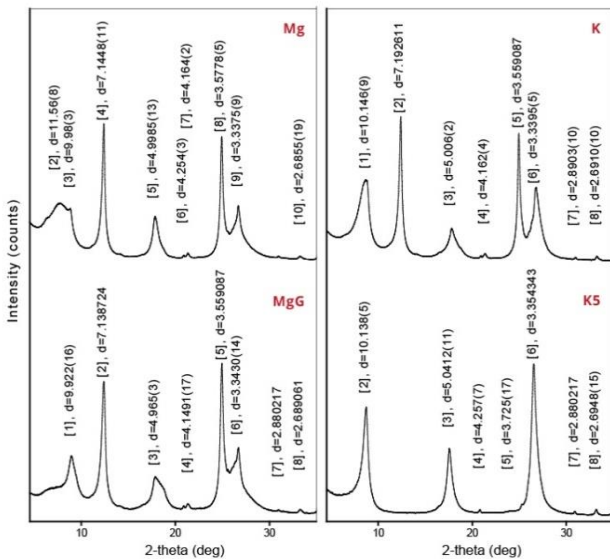
Gambar 3. Difraktogram mineral liat pada pedon P5 horison BCtv (49,5-112,5 cm) [a] dan horison Cv (112,5-150,0 cm), [b] dengan penjujukan K<sup>+</sup> (K), K<sup>+</sup> + pemanasan 550° C (K5), Mg<sup>2+</sup> (Mg) dan Mg<sup>2+</sup> + Gliserol (MgG)

Figure 3. Diffractogram of clay mineral on samples of horizon BCtv (49.5-112.5 cm) [a], and horizon Cv (112.5-150.0 cm), [b] of pedon P15 with saturation of K<sup>+</sup> (K), K<sup>+</sup> + heating 550° C (K5), Mg<sup>2+</sup> (Mg), and Mg<sup>2+</sup> + Glycerol (MgG)

Berbeda dengan pedon P2 dan P5, pada pedon P14, P16 dan P24 yang terdapat di bagian Tengah hingga Barat lokasi penelitian dengan curah hujan yang lebih besar (2.500-4.000 mm th<sup>-1</sup>) juga mengandung mineral gutit, yang diperlihatkan oleh puncak difraksi dengan kisaran jarak *d* sebesar 4,14 – 4,19 Å. Menurut Deepthy dan Balakrishnan (2005), gutit diidentifikasi dengan puncak

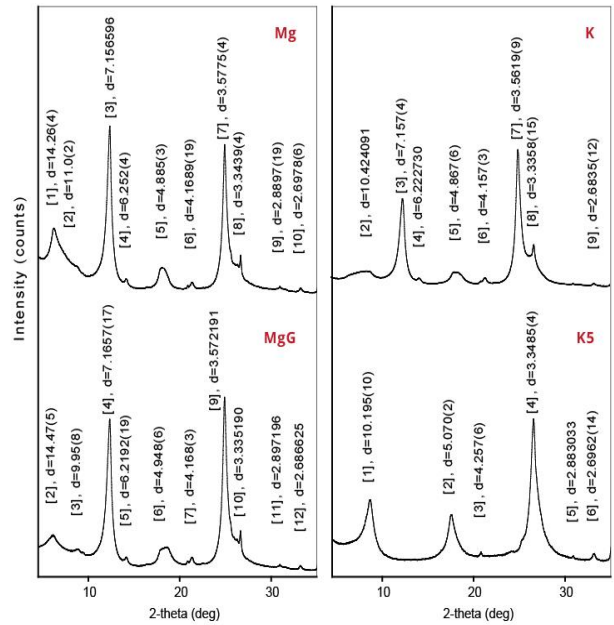
difraksi sebesar 4.16 Å. Schwertmann (1984), Schaeztl dan Anderson (2005), mengemukakan bahwa gutit ( $\alpha$ -FeOOH) adalah oksida besi yang paling luas tersebar dalam tanah, ditemukan pada daerah beriklim sedang sampai tropik, semi-arid sampai lembab. Gutit memberikan warna pada tanah coklat sampai coklat kekuning-kuningan. Partikel gutit berukuran kecil (<0,1  $\mu$ m).

Pada pedon P14 yang terletak pada zona curah hujan III (2.500-3.000 mm th<sup>-1</sup>) mengandung mineral kuarsa (kisaran jarak d sebesar 4,25 – 4,26 Å, 3,34 – 3,35 Å) dalam jumlah sedikit sekali dan pada pedon P16 yang terletak pada zona curah hujan IV (3.000-3.500 mm th<sup>-1</sup>) mengandung gibsit (kisaran jarak d sebesar 4,88-4,95 Å) dalam jumlah sedikit. Deepthy dan Balakrishnan (2005) mengatakan bahwa puncak gibsit sangat tajam, sedang puncak kaolinit pendek dan luas yang menunjukkan *poor crystallinity*. Furian *et al.* (2002); Schaeztl dan Anderson (2005) mengemukakan gibsit terutama terbentuk pada tanah di daerah yang memiliki curah hujan tinggi dengan drainase bebas, dimana dimungkinkan terjadinya perlindian silika dan pada suhu hangat mendorong terjadinya pelapukan mineral primer. Curi dan Franzmeier (1984); Schaeztl dan Anderson (2005) mengemukakan pada *site* lembab biasanya profil tanah memiliki lebih banyak gutit dan kaolinit, yang mencerminkan tingkat desilikasi yang lebih rendah.



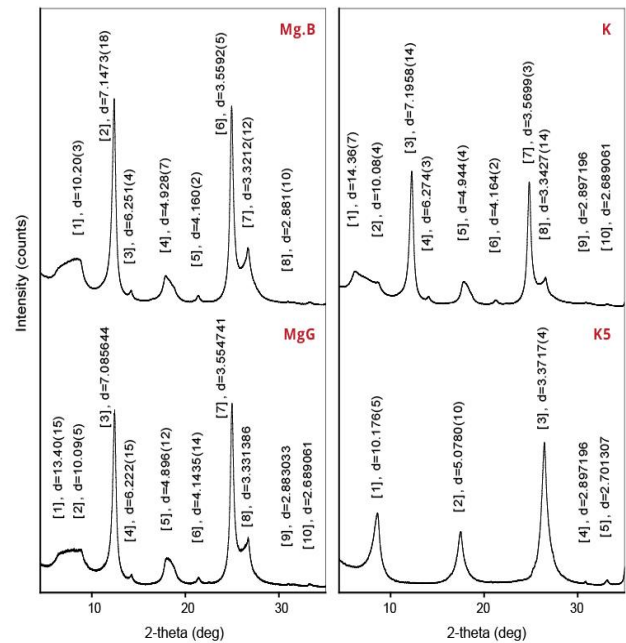
Gambar 4. Difraktogram mineral liat pada pedon P14 horison Cv (123,0-140,0 cm) dengan penjenuhan K<sup>+</sup> (K), K<sup>+</sup> + pemanasan 550° C (K5), Mg<sup>2+</sup> (Mg) dan Mg<sup>2+</sup> + Gliserol (MgG)

Figure 4. Diffraction of clay mineral on sample of horizon Cv (123.0-140.0 cm) of pedon P14 with saturation of K<sup>+</sup> (K), K<sup>+</sup> + heating 550° C (K5), Mg<sup>2+</sup> (Mg), and Mg<sup>2+</sup> + Glycerol (MgG)



Gambar 5. Difraktogram mineral liat pada pedon P16 horison BCt (116,5-150,0 cm) dengan penjenuhan K<sup>+</sup> (K), K<sup>+</sup> + pemanasan 550° C (K5), Mg<sup>2+</sup> (Mg) dan Mg<sup>2+</sup> + Gliserol (MgG)

Figure 5. Diffraction of clay mineral on sample of horizon BCt (116.5-150.0 cm) of pedon P16 with saturation of K<sup>+</sup> (K), K<sup>+</sup> + heating 550° C (K5), Mg<sup>2+</sup> (Mg), and Mg<sup>2+</sup> + Glycerol (MgG)



Gambar 6. Difraktogram mineral liat pada pedon P24 horison Cv (138,0-160,0 cm) dengan penjenuhan K<sup>+</sup> (K), K<sup>+</sup> + pemanasan 550° C (K5), Mg<sup>2+</sup> (Mg) dan Mg<sup>2+</sup> + Gliserol (MgG)

Figure 6. Diffraction of clay mineral on sample of horizon Cv (138.0-160.0 cm) of pedon P24 with saturation of K<sup>+</sup> (K), K<sup>+</sup> + heating 550° C (K5), Mg<sup>2+</sup> (Mg), and Mg<sup>2+</sup> + Glycerol (MgG)

Tabel 1. Jenis dan jumlah mineral dari 5 pedon tanah terseleksi yang dianalisis dengan XRD  
 Table 1. Types and amounts of minerals from 5 selected soil pedons analyzed with XRD

No	Kode Lab	Pedon (Zona)	Horison (Kedalaman tanah, cm)	Kaolinit	Gibsit	Kuarsa	Illit	Vermikulit	Gutit
1	M 96.6	P2 (I)	Cv (96,5-100,0)	+++	-	-	+	+	-
2	M 49.5	P5 (II)	BCtv (49,5-112,5)	+++	-	-	+	+	-
	M 112.5	P5 (II)	Cv (112,5-150,0)	+++	-	-	+	-	-
3	M 123	P14 (III)	Cv (123,0-150,0)	++	-	(+)	++	-	(+)
4	M 116	P16 (IV)	BCt (116,5-150,0)	+++	+	-	-	+	(+)
5	M 138	P24 (V)	Cv (138,0-170,0)	+++	-	-	+	-	(+)

Keterangan: +++ = dominan; ++ = cukup; + = sedikit; (+) = sedikit sekali

Mineral liat yang terdapat pada kelima pedon masing-masing meliputi jenis kaolinit dengan jumlah kategori sediki hingga dominan, illit dalam jumlah sedikit hingga cukup, vermikulit dan gibsit dalam jumlah kategori sedikit, dan gutit dan kuarsa dalam jumlah sedikit sekali (Tabel 1). Berdasarkan data ini menunjukkan bahwa variasi jenis mineral liat lebih banyak terdapat pada daerah dengan curah hujan yang tinggi, yang diwakili oleh pedon-pedon P14, P16 dan P24 (jumlah curah hujan 2.500 – 4.000 mm th<sup>-1</sup>). Jenis mineral yang merupakan produk akhir dari proses pelapukan juga terdapat pada pedon-pedon ini. Deepthy dan Balakrishnan, 2005 mengemukakan bahwa curah hujan merupakan faktor yang sangat nyata mempengaruhi pelapukan kimia dan genesis mineral liat di daerah tropik. Curah hujan dan pencucian yang tinggi menjadi penyebab langsung transformasi mineral seperti feldspar, biotit dan muskovit ke bentuk mineral kaolinit, gibsit dan gutit. Menurut Aleva (1983), kaolinit, gibsit dan seskuioksida lain umumnya dipandang sebagai produk akhir pelapukan di daerah tropika lembab, dengan gibsit sering dilihat sebagai produk paling akhir.

Kandungan mineral liat kaolinit yang dominan pada tanah Ultisols di Kalimantan Timur dipandang memiliki respon yang rendah terhadap pemupukan, karena nilai Kapasitas Tukar Kation (KTK) kaolinit yang rendah. Menurut Nursyamsi dan Suprihati (2005), KTK kaolinit berkisar 1–10 me 100g<sup>-1</sup>. Disamping itu, kandungan liat kaolinit yang dominan dari Ultisols menjadi faktor pembatas dalam pemanfaatannya sebagai tanah pertanian.

### Mikromorfologi Ultisols

Seperti disajikan pada Tabel 2, rata-rata dari 5 pedon terseleksi yang mewakili 5 zona curah hujan (zona I

sampai V) mengandung selaput liat dalam jumlah yang bervariasi. Pada pada horison BCt dan Cv pedon P2 masing-masing mengandung selaput liat sebesar 24,30 % vol. dan 15,00 % vol. Pada horison BCtv pedon P5 dan horison Btv dan Cv pedon P14 mengandung selaput liat berturut-turut sebesar 14,07; 28,14 dan 5,78 % vol. Pada horison Bt dan BCt pedon P16 masing-masing mengandung sebesar 7,04 % vol. dan 3,61 % vol. Selaput liat atau *argillan* merupakan salah satu petunjuk terjadinya proses *lessivage* dan pembentukan horison argilik dalam tanah. McCarthy *et al.* (1999); Ufnar (2007) mengatakan *lessivage* merupakan faktor penentu pembentukan *argillan*. Menurut Jamagne (1973) dalam Quenard *et al.* (2011), *lessivage* umumnya diidentifikasi dalam tanah dengan keberadaan selaput liat dan penambalan (*filling*) pada skala makroskopik atau mikroskopik. Menurut Bronger dan Bruhn (1990) adanya *argillan* dapat digunakan untuk menunjukkan proses iluviasi liat, setidaknya pada tanah dengan nilai COLE (*Coefficient of Linear Extensibility*) rendah hingga sedang. Bullock dan Thompson (1985); Pal *et al.* (2003) menyatakan bahwa mikromorfologi rinci dari fitur tanah (*pedofeature*) liat dipandang sebagai metode terbaik untuk mengidentifikasi liat illuvial.

Secara umum, selaput liat yang terdapat pada ke lima pedon yang diteliti berukuran <0,01 mm (perbesaran 500-1.000 µm), berwarna kuning kecoklatan, kuning coklat, coklat hingga coklat kekuningan pada nikol sejajar (*plane polarized light*) dan berwarna bervariasi dari kuning pucat, kuning terang keabu-abuan, coklat kekuningan hingga coklat gelap pada nikol bersilang (*cross polarized light*), seperti disajikan pada Gambar 7-15. Menurut Schaetzl dan Anderson (2005), selaput yang dilapisi liat (*argillan*) biasanya tampak berbintik-bintik dengan berbagai warna

Tabel 2. Hasil Analisis Mikromorfologi pada 5 Pedon Terseleksi

Table 2. Results of Micromorphology Analysis on 5 Selected Pedons

Profil (zona)	Horizon	Kandungan L, D, P	HDE	Komposisi (%)			
				Matriks	Selaput Liat	Fragmen	
						Oksida Besi	Kuarsa
P2 (I)	A (0-6,5)	21,41; 32,60; 45,99	Argilik	47,77	24,30	9,22	18,72
	E (6,5-18,5)	21,07; 35,69; 43,24					
	Bt (18,5-35,5)	32,38; 33,71; 33,91					
	BCt (35,5-76,0)	36,25; 34,47; 29,28					
	BCtv (76,0-96,5)	38,36; 35,94; 25,70					
	Cv (96,5-100)	45,85; 32,27; 21,88					
P5 (II)	A (0-5,0)	24,40; 60,41; 15,19	Argilik	50,99	14,07	30,77	4,18
	E (5,0-15,5)	25,07; 60,00; 14,93					
	EB (15,5-34,0)	30,52; 50,70; 11,78					
	Bt (34,0-49,5)	41,30; 45,19; 13,51					
	BCtv (49,5-112,5)	52,25; 35,58; 12,17					
P14 (III)	Cv (112,5-140,0)	60,96; 32,40; 6,64	Argilik	32,73	28,18	30,23	6,59
	A (0-12,0)	26,99; 32,52; 40,49					
	E (12,0-43,5)	24,90; 29,54; 45,56					
	E/Bt (43,5-57,5)	26,78; 31,96; 41,26					
	Bt (57,5-78,0)	36,56; 32,93; 30,51					
P16 (IV)	Btv (78,0-123,0)	47,40; 35,57; 17,03	Argilik	69,30	7,04	3,94	19,72
	Cv (123,0-140,0)	50,25; 38,83; 10,92					
	A (0-6,0)	22,68; 41,33; 35,99					
	E (6,0-39,0)	20,37; 37,24; 42,39					
	E/Bt (39,0-80,5)	25,30; 38,00; 36,70					
P24 (V)	Bt (80,5-116,5)	32,36; 33,75; 33,89	Kandik	64,85	2,30	1,46	31,38
	BCt (116,5-150,0)	35,35; 37,18; 27,47					
	A (0-5,0)	19,46; 20,04; 60,50					
	E (5,0-46,0)	14,09; 31,01; 54,90					
	EBt (46,0-87,0)	16,19; 30,58; 53,23					
	Bt (87,0-138,0)	28,57; 27,91; 43,52	Kandik	56,54	7,65	2,47	33,33
	Cv (138,0-160,0)	32,18; 27,88; 39,94					

Keterangan: Tingkat iluviasi liat; dapat diabaikan (*negligible*) = < 0,3 % Vol., lemah = 0,3-1,0 % Vol., Sedang = 1,0 – 4,0 % Vol., kuat = 4,0-7,0 % Vol., sangat kuat = >7,0 % Vol. (Miedema dan Slager, 1972).

Kandungan L, D, P = Kandungan Liat, Debu, Pasir. HDE = Horison Diagnostik Endopedon.

Sumber: Sebagian berasal dari Makhrawie *et al.* (2020)

saat *stage* diputar. Gambar 7 dan 8 memperlihatkan selaput liat pedon P2 yang hancur, berserabut dan menyebar dalam matrik dan mengelilingi oksida besi atau kuarsa serta pada berada retakan. Menurut Beinroth (1982); Schaetzl dan Anderson (2005), *argillan* hampir tidak mungkin diidentifikasi di lapangan pada tanah dengan mineralogi kaolinit dan oksik. Jika diamati dalam irisan tipis, selaput tipis (*argillan*) cenderung tipis dan terdegradasi. Pada tahap degradasi lanjutan, semua sisa *argillan* dan horison Bt biasanya akan hancur.

Selain selaput liat, pada semua pedon yang diteliti juga mengandung oksida besi dan kuarsa yang bervariasi cukup

besar, yaitu: oksida besi berkisar sebesar 2,46 sampai 30,77 % vol. dan kuarsa berkisar sebesar 4,18 sampai 44,59 % vol. (Gambar 7-15). Seperti diperlihatkan pada Gambar 9-11, jumlah oksida besi yang besar terdapat pada horison BCtv pedon P5, dan horison Btv dan Cv pedon 14 (Makhrawie *et al.* 2020). Jakobsen (1989); Schaetzl dan Anderson (2005) mengemukakan bahwa kutan (selaput liat) yang kaya dengan Al dan Fe berada di atas kutan yang kaya Si di horison B. Lebih lanjut dikatakan oleh Schaetzl dan Anderson (2005), *ferri-argillan* merupakan salah satu kutan atau selaput liat yang mengandung campuran mineral liat dan oksida besi, hidroksida dan

oksidihidroksida. Oksida besi yang terdapat pada ke-5 pedon berwarna coklat gelap pada nikol sejajar dan berwarna coklat kehitaman, coklat gelap kemerahan hingga hitam pada nikol bersilang, berbentuk *angular*, *subangular* dan berukuran 0,02–10 mm. Warna merah menunjukkan bahwa tanah-tanah ini mengandung sejumlah besar oksida besi, tetapi sedikit silika telah hilang. Sementara itu, Soileau dan McCracken (1967) dalam penelitiannya menemukan bahwa kemerahan Ultisols tidak sebanyak disebabkan oleh ketebalan selaput besi pada partikel-partikel sebagaimana disebabkan oleh bentuk oksida besinya sendiri. Schaetzl dan Anderson (2005), mengatakan bahwa di lingkungan tropis humida, silika tetap larut dan meninggalkan sistem melalui desilikasi, sementara yang lain dapat mengendap sebagai kuarsa atau mineral silikat mikrokristalin lainnya. Desilikasi merupakan pemindahan silika dari profil tanah oleh pelapukan dan pencucian yang intensif.

Khusus pada horison Btv pedon P14 terdapat fragmen

batuan yang kaya kuarsa mikrokristalin sebesar 2,27 % vol (Gambar 10). Kuarsa yang terdapat pada pedon-pedon tanah secara relatif tidak berwarna pada nikol sejajar dan berwarna abu-abu pada nikol bersilang, non-pleokroik, bentuk *angular-subangular*, berukuran 0,02-1,50 mm, memiliki gelapan bergelombang berupa kuarsa monokristalin dan/atau polikristalin. Secara umum, matriks pada pedon P2, P5, P14, P16 dan P24 tidak berwarna, berwarna bening sampai bening kecoklatan pada nikol sejajar dan abu-abu sampai abu-abu kekuningan pada nikol bersilang, berukuran 0,01 mm, berupa mineral lempung dan mikrokristalin kuarsa.

Dengan menggunakan lapisan ke-5 dari pedon-pedon yang terseleksi, jumlah selaput liat meningkat hingga curah hujan 2.500 – 3.000 mm per tahun (zona III), kemudian menurun pada curah hujan > 3.000 mm th<sup>-1</sup> (zona IV dan V). Jumlah selaput liat secara relatif meningkat sejalan dengan meningkatnya jumlah oksida besi dari zona I sampai III, kemudian menurun pada zona

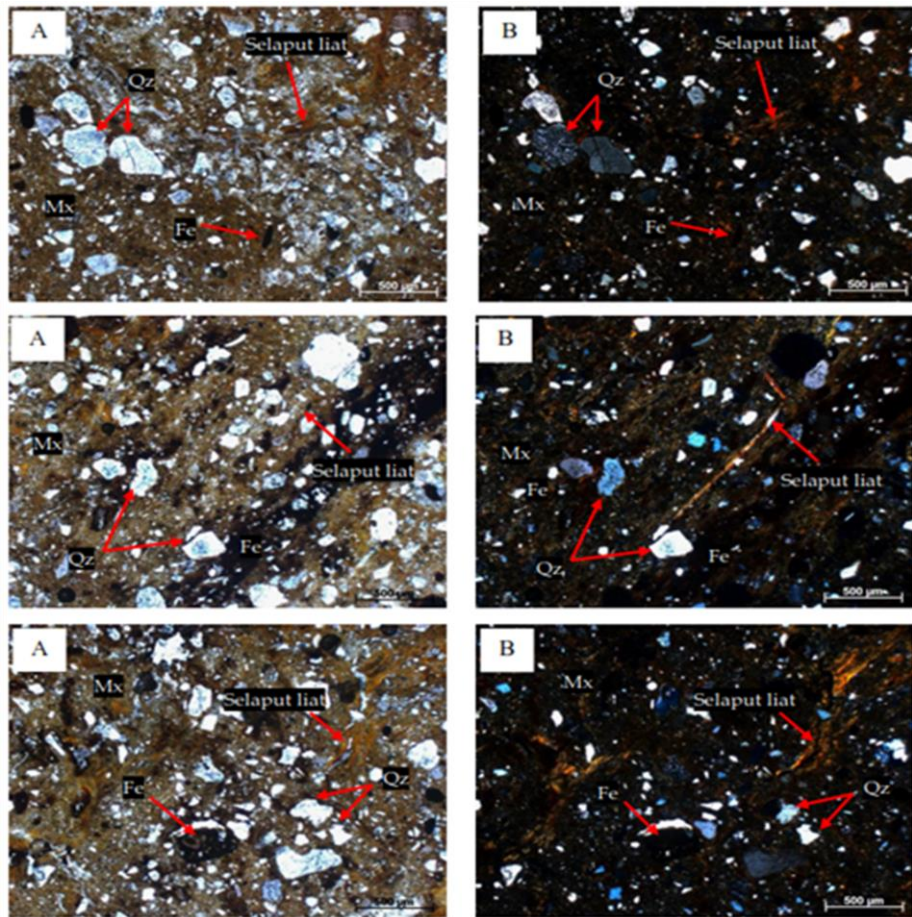


Foto 9. Fotomikrograf sayatan tipis no. lab. 0053/19, kode: KB2-4; [A] nikol sejajar, [B] nikol bersilang.  
Ket.: Mx= matriks, Fe= Oksida besi, Qz= Kuarsa.

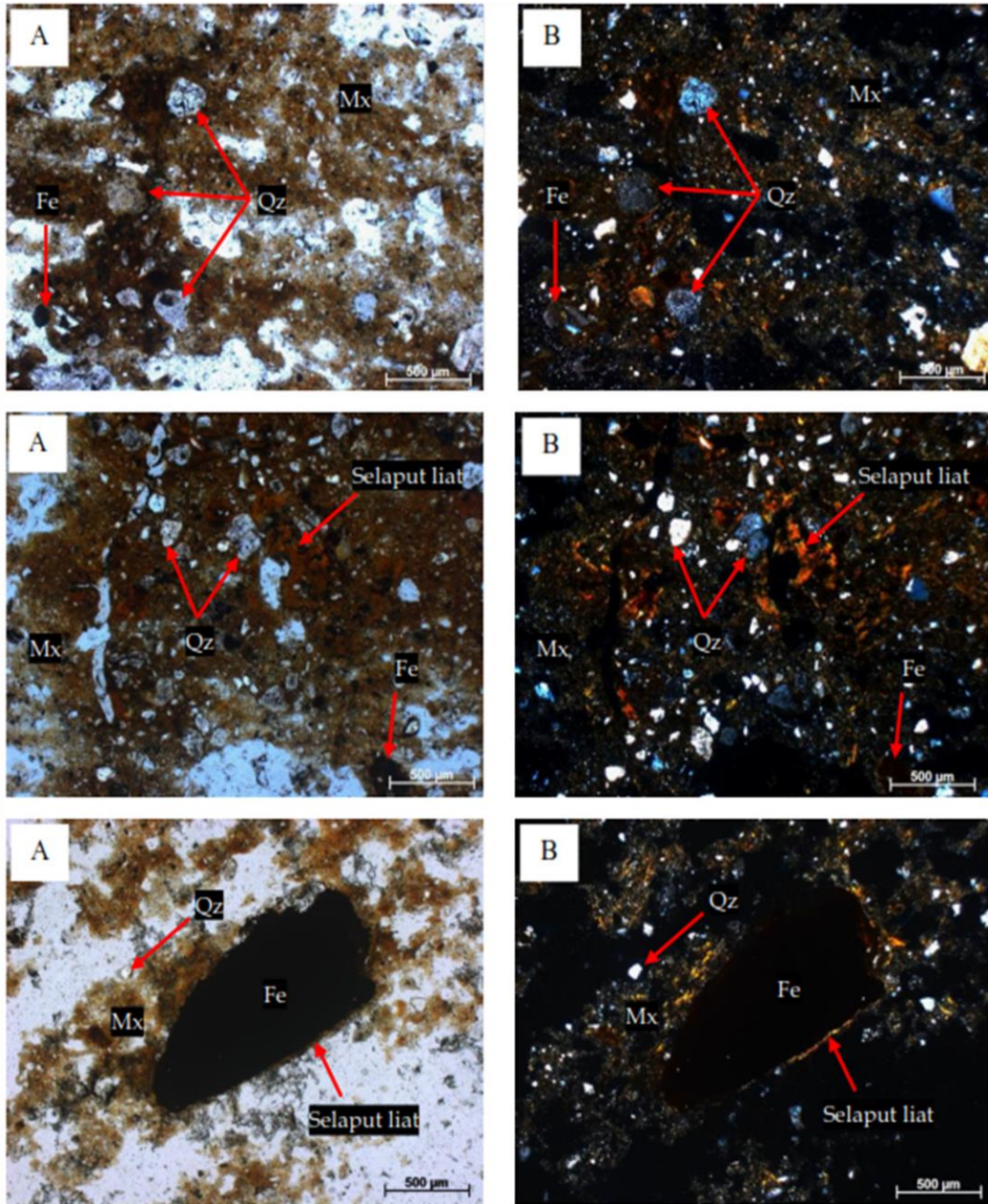
Gambar 7. Fotomikrograf sayatan tipis dari sampel tanah *kubiena box* dari pedon P2 horison BCt (35,5-76,0 cm); nikol sejajar [A], nikol bersilang [B]

Figure 7. Photomicrograph of thin section of soil *kubiena box* sample from horizon BCt (35.5-76.0 cm) of pedon P1; plane-polarized light [A], cross-polarized light [B]



IV dan V (Makhrawie *et al.* 2020). Jumlah kuarsa (*quartz*) berbanding terbalik dengan kandungan selaput liat dan oksida besi. Jumlah kuarsa rendah terdapat pada pedon P5 dan P14 (zona II dan III) dan pedon P24 (zona V). Selaput liat tertinggi (28,18 % vol.) terdapat pada pedon P14 (zona III), dengan jumlah oksida besi sebesar 30,23 % vol. dan kuarsa sebesar 6,59 % vol. Menurut Makhrawie *et al.* (2020), oksida besi pada pedon P2, P5 dan P14 terdapat

lebih dangkal dan lebih dekat dengan permukaan, sedang pada pedon P16 dan P24 relatif terdapat pada lapisan tanah yang lebih dalam (Tabel 2). Tentunya, hal ini sangat terkait dengan lebih tingginya jumlah curah hujan tahunan pada pedon P16 dan P24 yang memungkinkan terjadinya proses pencucian (*leaching*) hara termasuk unsur besi yang lebih intensif.



Keterangan: Selaput Liat= *Clay coatings*, Mx= *Matrix*, Qz= *Quartz*, Fe= *Iron oxide*

Gambar 8. Fotomikrograf sayatan tipis dari sampel tanah *kubiena box* dari pedon P2 horison BCtv (76,0-96,5 cm); nikol sejajar [A], nikol bersilang [B].

Figure 8. Photomicrograph of thin section of soil *kubiena box* sample from horizon BCtv (76.0-96.5 cm) of pedon P2; plane-polarized light [A], cross-polarized light [B]

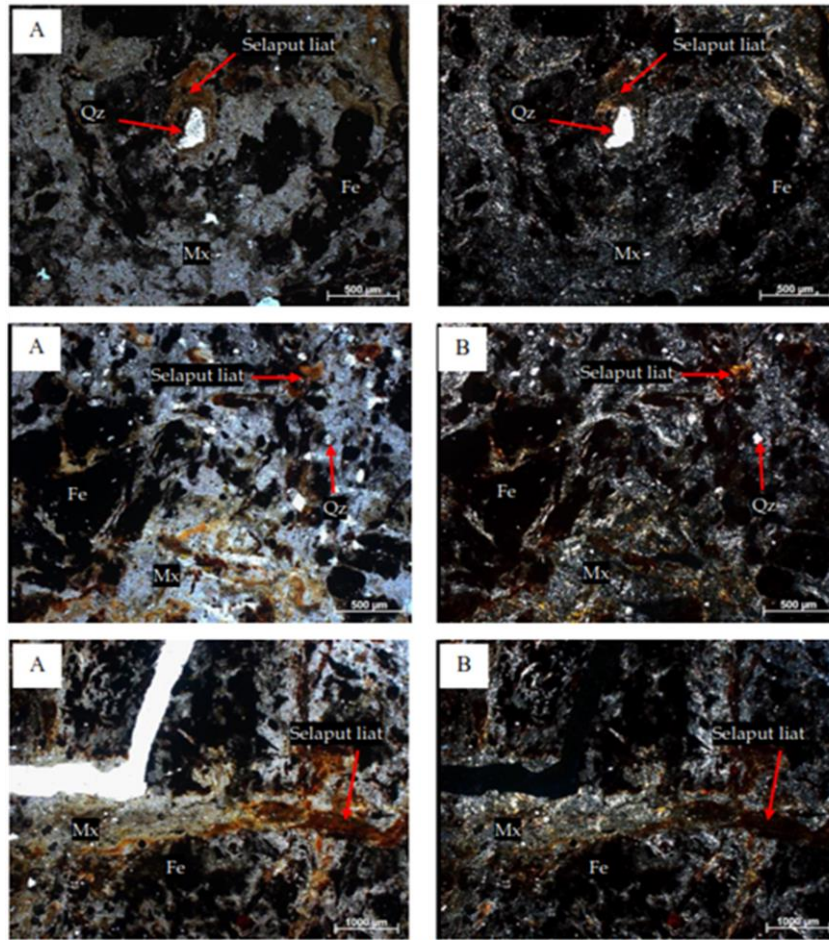
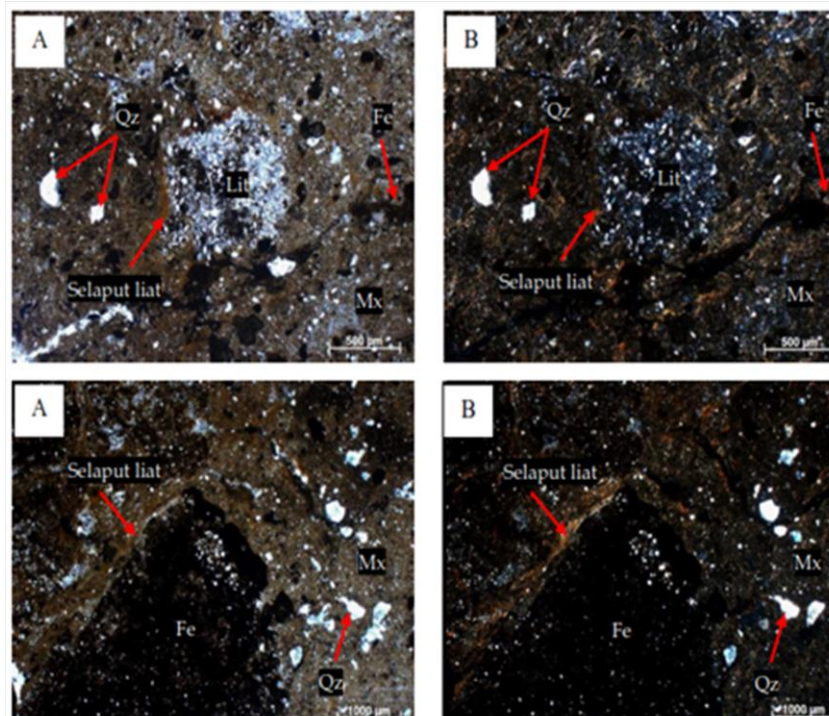


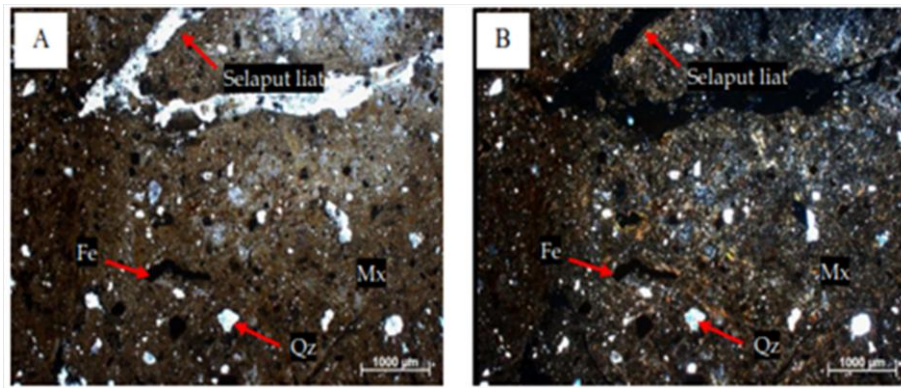
Foto 27. Fotomikrograf sayatan tipis no. lab. 0059/19, kode: KB5-5; [A] nikol sejajar, [B] nikol bersilang.  
Ket.: Mx= matriks, Fe= Oksida besi, Qz= Kuarsa.

Keterangan: Selaput Liat= Clay coatings, Mx= Matrix, Qz= Quartz, Fe= Iron oxide, Lit=Lithic/fragment

Gambar 9. Fotomikrograf sayatan tipis dari sampel tanah *kubiena box* dari pedon P5 horison BCtv (49,5-112,5 cm); nikol sejajar [A], nikol bersilang [B]

Figure 9. Photomicrograph of thin section of soil *kubiena box* sample from horizon BCtv (49.5-112.5 cm) of pedon P5; plane-polarized light [A], cross-polarized light [B]

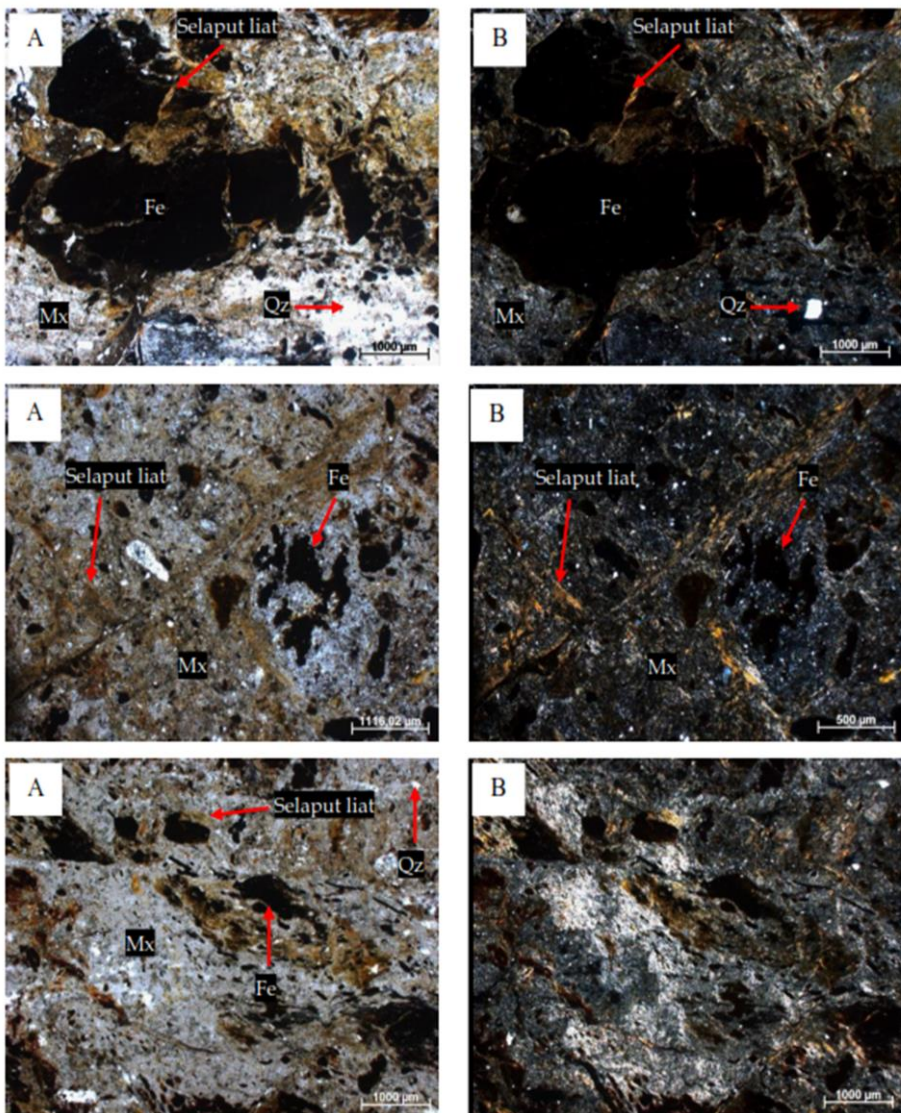




Keterangan: Selaput Liat= *Clay coatings*, Mx= *Matrix*, Qz= *Quartz*, Fe= *Iron oxide*, Lit=*Lithic/fragment*

Gambar 10. Fotomikrograf sayatan tipis dari sampel tanah *kubiena box* dari pedon P14 horison Btv (78,0-123,0 cm); nikol sejajar [A], nikol bersilang [B]

Figure 10. Photomicrograph of thin section of soil *kubiena box* sample from horizon *Btv* (78.0-123.0 cm) of pedon P14; plane-polarized light [A], cross-polarized light [B]



Keterangan: Selaput Liat= *Clay coatings*, Mx= *Matrix*, Qz= *Quartz*, Fe= *Iron oxide*, Lit=*Lithic/fragment*

Gambar 11. Fotomikrograf sayatan tipis dari sampel tanah *kubiena box* dari pedon P14 horison Cv (123,0-140,0 cm); nikol sejajar [A], nikol bersilang [B]

Figure 11. Photomicrograph of thin section of soil *kubiena box* sample from horizon *Cv* (123.0-140.0 cm) of pedon P14; plane-polarized light [A], cross-polarized light [B]

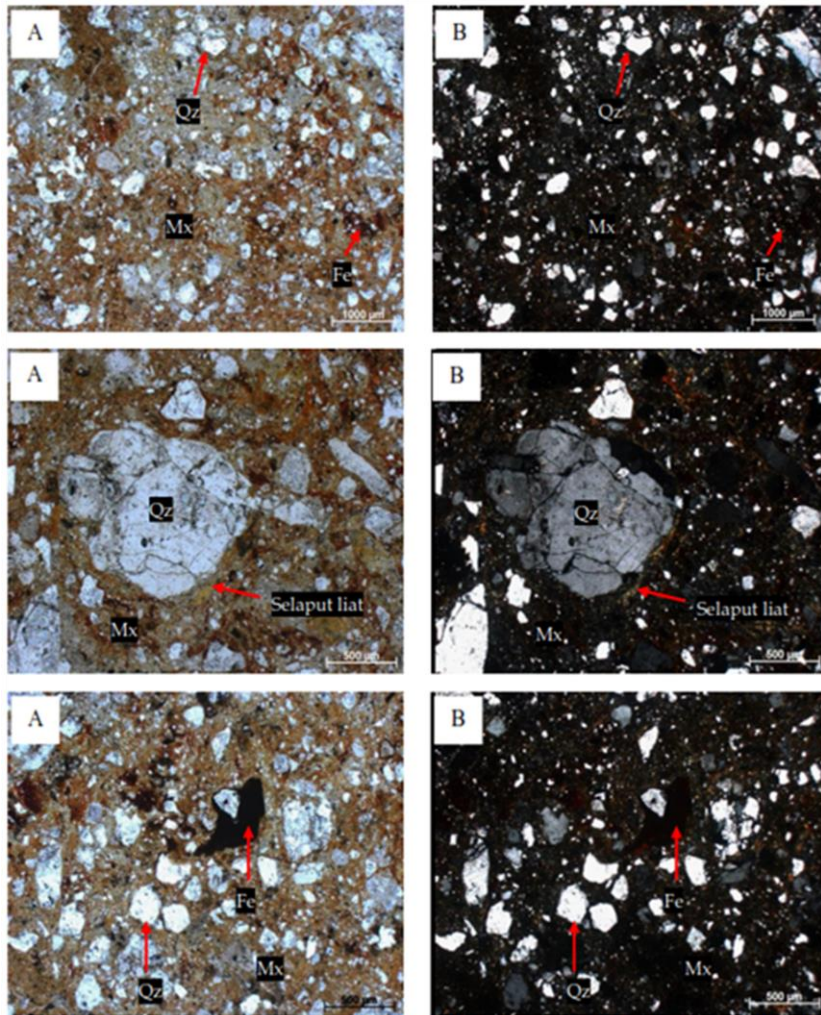
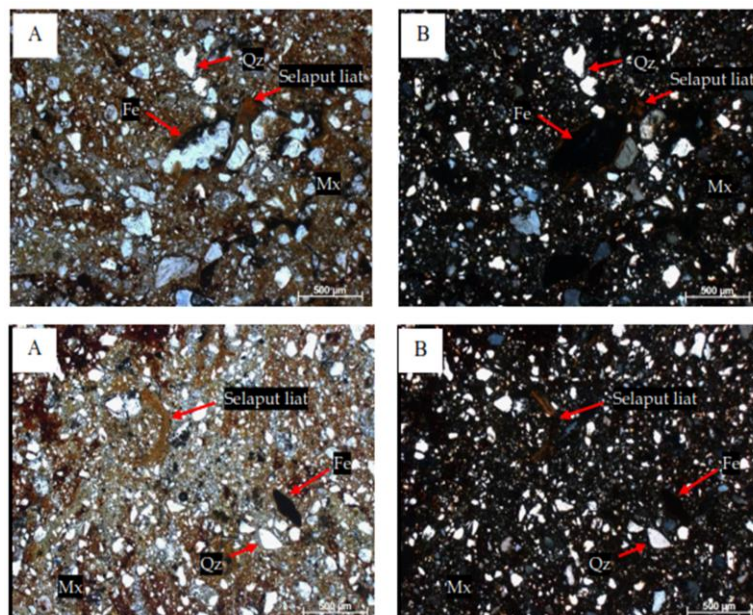


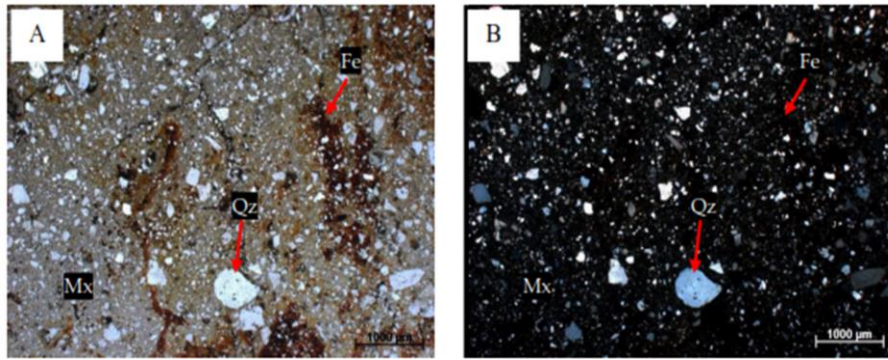
Foto 39. Fotomikrograf sayatan tipis no. lab. 0063/19, kode: KB16-4; [A] nikel sejajar, [B] nikel bersilang.  
Ket.: Mx= matriks, Fe= Oksida besi, Qz= Kuarsa.

Keterangan: Selaput Liat= Clay coatings, Mx= Matrix, Qz= Quartz, Fe= Iron oxide, Lit=Lithic/fragment

Gambar 12. Fotomikrograf sayatan tipis dari sampel tanah *kubiena box* dari pedon P16 horison Bt (80,5-116,5 cm); nikel sejajar [A], nikel bersilang [B]

Figure 12. Photomicrograph of thin section of soil *kubiena box* sample from horizon Bt (80.5-116.5 cm) of pedon P16; plane-polarized light [A], cross-polarized light [B]

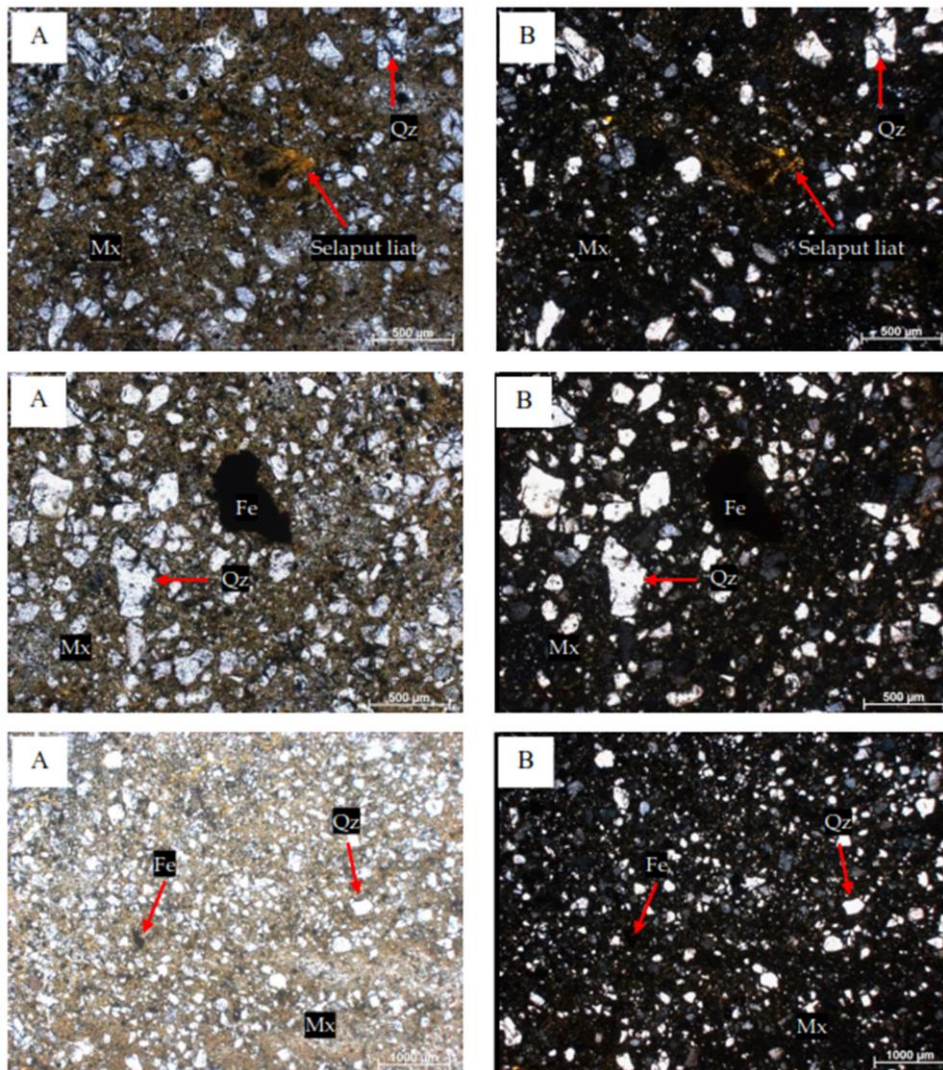




Keterangan: Selaput Liat= Clay coatings, Mx= Matrix, Qz= Quartz, Fe= Iron oxide, Lit=Lithic/fragment

Gambar 13. Fotomikrograf sayatan tipis dari sampel tanah *kubiena box* dari pedon P16 horison BCt (116,5-150,0 cm); nikol sejajar [A], nikol bersilang [B]

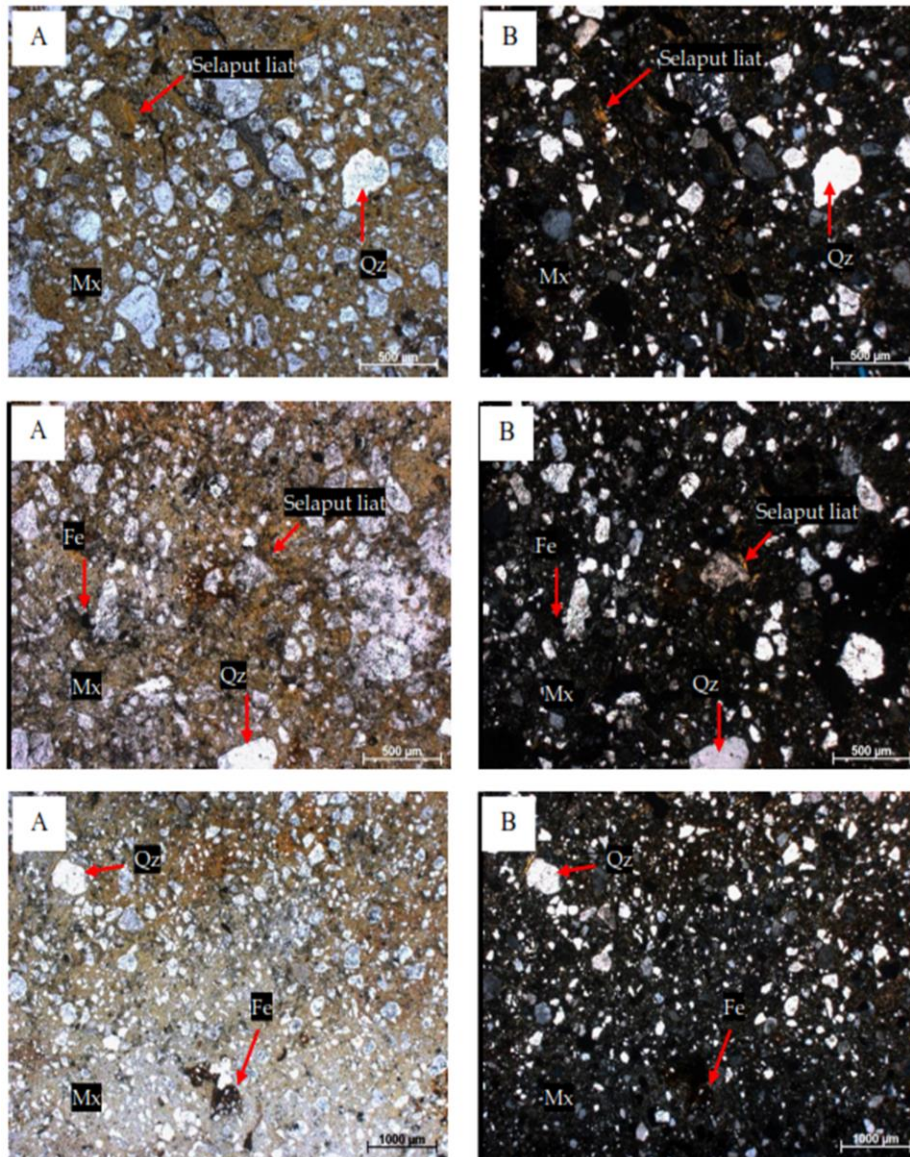
Figure 13. Photomicrograph of thin section of soil *kubiena box* sample from horizon BCt (116.5-150.0 cm) of pedon P16; plane-polarized light [A], cross-polarized light [B]



Keterangan: Selaput Liat= Clay coatings, Mx= Matrix, Qz= Quartz, Fe= Iron oxide, Lit=Lithic/fragment

Gambar 14. Fotomikrograf sayatan tipis dari sampel tanah *kubiena box* dari pedon P24 horison Bt (87,0-138,0 cm); nikol sejajar [A], nikol bersilang [B]

Figure 14. Photomicrograph of thin section of soil *kubiena box* sample from horizon Bt (87.0-138.0 cm) of pedon P24; plane-polarized light [A], cross-polarized light [B]



Keterangan: Selaput Liat= Clay coatings, Mx= Matrix, Qz= Quartz, Fe= Iron oxide, Lit=Lithic/fragmen

Gambar 15. Fotomikrograf sayatan tipis dari sampel tanah kubiena box dari pedon P24 horison Cv (138,0-160,0 cm); nikol sejajar [A], nikol bersilang [B]

Figure 15. Photomicrograph of thin section of soil kubiena box sample from horizon Cv (138.0-160.0 cm) of pedon P5; plane-polarized light [A], cross-polarized light [B]

## Kesimpulan

Mineral liat yang terdapat pada klimosekuen Ultisols didominasi oleh kaolinit, diikuti oleh mineral liat illit dalam jumlah sedikit hingga cukup, vermikulit dan gipsit dalam jumlah sedikit, dan gutit serta kuarsa dalam jumlah sedikit sekali. Mineral liat pada Ultisols yang terdapat di daerah dengan curah hujan yang lebih tinggi (pedon-pedon P14, P16 dan P24 yang mewakili pedon pada zona III-V dengan jumlah curah hujan 2.500-4.000 mm/th) menunjukkan lebih banyaknya dibandingkan yang terdapat di daerah dengan curah hujan yang lebih rendah (pedon P2 dan P5 yang mewakili zona I dan II dengan

jumlah curah hujan <math><2.000-2.500\text{ mm th}^{-1}</math>). Kenyataan ini menunjukkan bahwa semakin tinggi curah hujan maka semakin intensif proses pelapukan kimia dan pembentukan mineral kaolinit, gipsit dan gutit.

Jumlah selaput liat (*argillan*) dari 5 pedon Ultisols pada sekuen curah hujan bervariasi sebesar 2,30 – 28,18 % vol., yang menunjukkan bukti terbentuknya horison argillik (Bt) pada Ultisols. Pada semua pedon yang diteliti juga mengandung oksida besi dan kuarsa yang bervariasi cukup besar, yaitu: oksida besi sebesar 1,46 - 30,77 % vol. dan kuarsa sebesar 2,36 - 44,59 % vol. Jumlah selaput liat (*argillan*) secara relatif meningkat sejalan dengan meningkatnya jumlah oksida besi dari zona I sampai III,

kemudian menurun pada zona IV dan V. Jumlah kuarsa (*quartz*) berbanding terbalik dengan kandungan selaput liat dan oksida besi. Selaput liat tertinggi (28,18 % vol.) terdapat pada pedon P14 (zona III), dengan jumlah oksida besi sebesar 30,23 % vol. dan kuarsa sebesar 6,59 % vol. Jumlah curah hujan  $\geq 3.000 \text{ mm th}^{-1}$  seperti kasus pada pedon P16 dan P24 menunjukkan bahwa proses pencucian dan translokasi liat masih berlangsung (aktif), yang dapat menghambat dan/atau mereduksi pembentukan selaput liat dan lapisan plintit.

## Daftar Pustaka

- Aleva, G.J.J. 1983. On weathering and denudation of humid tropical interfluvial and their triple planation surfaces. *Geol. Mijnbouw* 62: 383-388.
- Alvarez, R., R.S. Lavado. 1998. Climate, organic matter and clay content relationships in the Pampa and Chaco soils, Argentina. *Geoderma* 83: 127-141.
- Beinroth, F. H. 1982. Some highly weathered soils of Puerto Rico. I. Morphology, formation and classification. *Geoderma* 27: 1-73.
- Bockheim, J.G., A.E. Hartemink. 2013. Distribution and classification of soil with clay-enriched horizon in the USA. *Geoderma* 209-210: 153-160.
- Brady, N.C. 1990. The Nature and Properties of Soils, 10 ed. Macmillan, New York, NY. 595 pp.
- Brady, N.C., R.R. Weil. 2007. The Nature and Properties of Soil 14th Ed. Pearson Education, Inc. and Dorling Kindersley Publishing.
- Bronger, A., N. Bruhn. 1990. Clay Illuviation in Semiarid-Tropical (SAT) Alfisols? A First Approach to A New Concept. In L.A. Douglas (ed.). Soil Micro-Morphology: A Basic and Applied Science. Proceedings of the VIIIth International Working Meeting of Soil Micromorphology. Development in Soil Sci. 9:175-181.
- Bullock, P., M.L. Thompson. 1985. Micromorphology of Alfisols. In L.A Douglas dan M.L. Thompson. (Eds.), Soil Micromorphology and Soil Classification. Soil Sci. Soc. of Am. Madison, WI. pp. 17 - 47.
- Churchman, G. D., D. Paynen, 1983. Mercury intrusion porosimetry of some New Zealand soils in relation to clay mineralogy and texture. *Journal Soil Science*, 24(3): 437-451.
- Curi, N., D.P. Franzmeier. 1984. Toposequence of Oxisols from the Central Plateau of Brazil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48: 341-346.
- Depthy, R., S. Balakrishnan. 2005. Climatic control on clay mineral formation: Evidence from weathering profiles developed on either side of the Western Ghats. *J. Earth Syst. Sci.* 114 (5): 545-556.
- Duchaufour, P. 1998. Handbook of Pedology (Translated from French by V.A.K. Sharma). A.A. Balkema, Rotterdam.
- Elliott, P.E., P.J. Drohan. 2009. Clay accumulation and argillic-horizon development as influenced by aeolian deposition Vs. Local parent material on quartzite and limestone-derived alluvial fans. *Geoderma* 151: 98-108.
- Eswaran, H. 1993. Assessment of Global Resources: Current Status and Future Needs. *Pedologie* 43: 19-39.
- FAO. 2006. Guidelines for Soil Description 4th Ed. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Furian, S., L. Barbiero, R. Boulet. 2002. Distribution and dynamics of gibbsite and kaolinite in an Oxisol of Serra Do Mar, Southeastern Brazil. *Geoderma* 106: 83-100.
- Hardjowigeno, S. 2003. Klasifikasi Tanah dan Pedogenesis. CV. Akademika Pressindo, Jakarta.
- Jakobsen, B. H. 1989. Evidence for translocations into the B horizon of a Subarctic Podzol in Greenland. *Geoderma* 45: 3-17.
- Jamagne, M. 1973. Contribution à l'Etude Pédogénétique des Formations Loessiques du Nord de la France. Thèse Fac. Gembloux, Belgique, 445 pp.
- Jenny, H. 1994. Factors of Soil Formation: A System of Quantitative Pedology. Dover Publication, Inc., New York.
- Kerr, P.F. 1959. Optical Mineralogy 3rd Ed. McGraw-Hill, New York. 442p.
- Makhrawie, M.L. Rayes, M. Munir, dan Sudarto. 2020. Genesis and development of argillic horizon in climosequence. *Eco. Env. & Cons J.* 26(4): 104-114.
- McCarthy, P.J., I.P. Martini, D.A. Leckie. 1999. Pedogenic and diagenetic influences on void coating formation in lower Cretaceous Paleosols of the mill creek formation, Southwestern Alberta, Canada. *Geoderma* 87: 209-237.
- Miedema, R., S. Slager. 1972. Micromorphological Quantification of Clay Illuviation. *Journal of Soil Sci.* 23(3): 309-314.
- Merkel, A. 2021. Climate-data.org. AM. Online project. <https://id.climate-data.org/info/privacy> (24 Agustus 2020).
- Mulyani, A., Hikmatullah, H. Subagyo. 2004. Karakteristik dan Potensi Tanah Masam Lahan Kering Di Indonesia Dalam Prosiding Simposium Nasional Pendayagunaan Tanah Masam. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Nursyamsi, D., Suprihati. 2005. Sifat-sifat kimia dan mineralogi tanah serta kaitannya dengan kebutuhan pupuk untuk Padi (*Oryza sativa*), Jagung (*Zea mays*) dan Kedelai (*Glycine max*). *Bul. Agron.* 33(3): 40-47.

- Pal, D.K., P. Srivastava, T. Bhattacharyya. 2003. Clay illuviation in calcareous soils of the semiarid part of the Indo-Gangetic Plains, India. *Geoderma* 115: 177-192.
- Quénard, L., A. Samouëlian, B. Laroche, S. Cornu. 2011. Lessivage as a major process of soil formation: A revisit of existing data. *Geoderma* 167-168: 135-147
- Rayes, M.L. 2006. Deskripsi Profil Tanah di Lapangan. Unit Penerbitan Fakultas Pertanian Univ. Brawijaya, Malang.
- Schaetzl, R.J., S. Anderson. 2005. Soils: Genesis and Geomorphology. Cambridge University Press, Cambridge, UK. pp. 353-365.
- Schwertman, U. 1984. The Influence of Aluminium Oxides on Iron Oxide. IX. Dissolution of Al-Goethites in 6M HCl. *Clay Minerals* 19:9-19.
- Soileau, J. M., R.J. McCracken. 1967. Free Iron Coloration in Certain Well-Drained Coastal Plain Soils in Relation to Their Other Properties and Classification. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 31: 248-255.
- Soil Survey Staff. 2013. Simplified Guide to Soil Taxonomy. USDA-Natural Resources Conservation Service-National Soil Survey Center, Lincoln, NE.
- Soil Survey Staff. 2014. Keys to Soil Taxonomy 12th Ed. USDA, Natural Resources Conservation Service, Washington D.C., USA.
- Ulf, B.W., R.C. Capo, O.A. Cadwick. 2001. Effect of rainfall on weathering rate, base cation provenance, and sr isotope composition of Hawaiian soils. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 65(7): 1087-1099.
- Ufnar, D.F. 2007. Clay coatings from a modern soil chronosequence: A tool for estimating the relative age of well-drained Paleosols. *Geoderma* 141: 181-200.
- USDA. 2012. Field Book for Describing and Sampling Soils Version 3.0. United States Depart. of Agric. and Natural Resources Conservation Service, Washington D.C.
- Van Reeuwijk, L.P. 1993. Procedures for Soil Analysis, 4<sup>th</sup> Ed. Technical Paper, International Soil Reference and Information Centre. Wageningen, the Netherlands.
- West, L.T., F.H. Beinroth, M.E. Sumner, dan B.T. Kang. 1998. Ultisol: Characteristics and Impacts on Society. *Advances in Agronomy* Vol. 63. Academic Press.
- Yaalon, D.H. 1983. Climate, Time and Soil Development. In L.P. Wilding, N.E. Smeck dan G.F. Hall (Eds.). *Pedogenesis and Soil Taxonomy I*. Elsevier Sci. Publ. B.V., Amsterdam.
- Zehetner, F., I. Djukic, W.P. Miller, F. Ottner, C.C. Tsai, A. Mentler, Z.S. Chen, dan M.H. Gerzabek. 2009. The Climosequence Approach: Experiences from Three Continents, Lessons Learned and Future Challenges. EGU General Assembly, 19-24 April, 2009 in Vienna.